

Article

새만금 방조제공사로 인한 조하대 환경과 저서동물 군집 변화

안순모^{1*} · 이재학² · 우한준² · 구본주² · 이형곤² · 유재원³ · 제종길⁴¹부산대학교 지구환경시스템학부

(609-735) 부산광역시 금정구 장전동 산30

²한국해양연구원 해양환경연구본부

(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

³인하대학교 해양과학과 한국연안환경생태연구소

(402-751) 인천시 남구 용현동 253

⁴대한민국국회

(150-701) 서울시 영등포구 여의도동 1번지

Benthic Environment and Macrofaunal Community Changes During the Dike Construction in Saemangeum Subtidal Area, Korea

Soonmo An^{1*}, Jae-Hac Lee², Han Jun Woo², Bon Joo Koo², Hyung-Gon Lee²,
Jae-Won Yoo³, and Jong Gil Je⁴¹*Division of Earth Environmental System, Pusan National University
Busan 609-735, Korea*²*Marine Environment Research Department, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*³*Korea Institute of Coastal Ecology, Inc., Department of Oceanography,
Inha University, Incheon 402-751, Korea*⁴*The National Assembly of the Republic of Korea
Seoul 150-701, Korea*

Abstract : The Saemangeum project is one of the biggest reclamation efforts in Korea and may cause coastal ecosystem change due to altered environments and habitat loss. Since February 2002, benthic environment and community structure in the Saemangeum subtidal area were studied to assess the influence of the project on macrofaunal community. The result of seasonal study from February, 2002 to August, 2005 is reported here. Overall, changes of species numbers and dominant species of benthic animals in the periods before (1988) and after (2002~2005) the Saemangeum dike construction were not evident both inside and outside the dike. However, local environmental and community change were noted. The partial completion of Saemangeum dike (4th dike) in June 2003 altered water circulation and sediment deposition patterns both inside and outside the dike. Fine sediment was accumulated inside and outside the 4th dike while coarse sediment dominated near the main channel (Sinsi gate). Benthic community responded to the altered sediment type in these areas. Species number and diversity in both site was low compared to other sites. The dominant species in these areas were composed of the benthos that had not commonly occurred in the Saemangeum subtidal area.

Key words : Saemangeum benthic ecosystem, benthic environment, subtidal community, macrofauna, soft bottom

*Corresponding author. E-mail : sman@pusan.ac.kr

1. 서 론

새만금 간척 공사는 세계적으로 유례가 없을 만큼 방대한 규모로서 서식지 소실 및 환경 변화 등으로 인해 해양 생태계에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다. 향후 이 지역에 대한 적절한 관리대책이 마련되기 위해서는 변화의 방향을 파악하는 것이 중요하며, 영향 범위 및 민감 지역을 알아야 할 것이다. 일반적으로 저서 생물들은 이동성이 적어, 환경변화를 피할 수 없고, 비교적 오래 살며, 같은 장소에 계속해서 나타나는 경향이 있으므로, 환경변화가 왔을 때 군집 변화를 일으킬 가능성이 크며, 따라서 군집 변화를 살펴봄으로서 환경 변화의 방향과 세기를 가늠해 볼 수 있다(Boesch *et al.* 1976; Simboursa *et al.* 1995; Hyland *et al.* 1996). 이와 더불어 저서 군집은 생물의 종류가 다양하고, 퇴적물식자나 부유물식자 등의 다양한 섭식 형태를 가지고 있으며, 생물마다 환경 변화에 대한 민감도가 다르고, 수층에 서식하는 생물들과는 달리 중·장기적으로 축적된 환경 변화 혹은 악화에 반응한다는 것 등, 생태계 변화를 나타내는 지시자(indicator)로서의 역할을 할 수 있는 특징들을 가지고 있다(Simboursa *et al.* 1995; Hyland *et al.* 1996).

방조제 공사가 저서 생태계에 미치는 영향은 다양한 측면에서 살펴 볼 수 있는데, 방조제와 같은 대형 구조물은 해수유동을 바꾸며, 표층 퇴적상을 변화시킬 뿐만 아니라, 수층의 성층 정도를 바꾸고, 오염물질 유입과 희석률에 영향을 끼쳐 직접적으로 혹은 간접적으로 저서동물군집에게 영향을 미칠 것이다(Sanders 1968; Lianso 1992). 해수유동 변화는 퇴적물식자나 부유물식자 등 식이형태(feeding type), 가입과 확산, 먹이공급 등에 영향을 미칠 수 있다(Sanders 1968). 퇴적물의 특성 또한 서식하는 저서동물의 기능적인 형태나 행동에 영향을 끼칠 뿐만 아니라 식이형의 분포를 제한한다(Sanders 1968; Tunnicliffe and Risk 1977). 하구에 서식하는 여러 저서동물은 과다한 유기물, 중금속이나 살충제 등의 오염물질에 대한 내성 정도가 각기 다르며, 오염물질 농도 변화에 반응하여, 천이와 군집변화가 일어날 것이다(Weston 1990; Hyland *et al.* 1996). 특히 외해와 차단된 방조제 내부는 해수의 유동이 급격히 감소할 것이며, 이에 따라 수직 성층이 강화되어, 대기로부터 수층 깊숙이 공급되는 산소의 양이 감소된 상태에서, 퇴적물 내 산소요구량이 증가하면, 저층은 저산소 혹은 무산소 환경에 이를 수도 있다(Wu 2002; Diaz *et al.* 1992; 해양수산부 2005). 무산소 환경은 그 자체로 저서생물의 호흡을 저해하여 민감한 종을 제거할 뿐만 아니라, 혐기성 분해 산물인 황화수소(H_2S)의 산화를 방해하여, 결국 황화수소가 수층에 방출됨으로써 저서동물에게 직접적인 독성으로 작용한다(Wu 2002; Diaz *et al.* 1992).

새만금 인근에 대한 저서생태계 연구는 방조제 건설을 둘러싼 논란이 커진 이후 본격적으로 이루어져 공사이전의 상태를 알 수 있는 자료는 귀한 편인데, 새만금 방조제 내부 갯벌의 대형저서동물 연구는 안과 고(1992)와 환경영향분과조사단(2000) 그리고 해양수산부(2001)의 조사가 있으나, 조하대에 대한 연구는 Choi and Koh(1994, 1992)와 한국해양연구소(1995) 등으로 매우 제한적인 비교자료가 있을 뿐이다.

본 연구에서는 2002년부터 새만금 방조제 내·외부의 조하대 환경과 동물군집을 조사하여 저서생태계의 변화를 알아보려 하였다. 새만금 공사로 인한 찬만 논란은 차치하고, 대규모 개발이 해양생태계에 미치는 영향을 살펴 볼 수 있는 좋은 기회로서, 공사 시기별로 저서 및 수질 환경 변화를 알아보았다. 2006년 4월 현재 새만금 방조제 끝물막이 공사가 완료되어 향후 또 다른 해양환경변화가 예상되고 있다. 따라서 본 논문에서는 현재까지 나타난 변화의 방향을 기술하는데 주력하였으며, 후속논문을 통해 좀 더 명확한 “개발과 해양 저서 생태계 반응” 관계를 밝힐 예정이다. 본 조사는 2012년까지 계속될 예정이며, 축적된 자료는 하구개발로 인한 해양생태계 영향을 알 수 있는 모델로 사용될 수 있을 것이다.

2. 조사 방법

조사 지역 및 현장조사

대형 저서동물군집과 서식환경 분석을 위하여, 방조제 내·외부 조하대 지역에 조사 정점을 설정하였다(Fig. 1). 현장조사는 연간 3~4회씩 이루어졌는데 2002년에 2월, 5월, 8월, 11월, 2003년에 2월, 5월, 8월, 2004년에 2월, 5월, 8월, 2005년에 5월, 8월에 실시하였다. 조사정점 수는 조사 시기에 따라 조정되었는데 2002년 2월 11개 정점, 5월과 8월에 38개 정점이 설치되었으며 2004년 이후에는 총 25개 내외(내부에 10개, 외부에 15개)를 설정하였고 각 정점에서 해수특성 분석, 퇴적물 특성 분석 및 저서생물 군집분석 등이 이루어졌다. 해수의 특성은 CTD(SBE-19)를 이용하여, 현장의 수심별 수온, 염분 등을 측정하였다. 저서동물과 퇴적물의 채집은 정량채지기(Smith-McIntyre grab, 채집 면적=0.1 m²)를 사용하였다. 각 정점마다 3회씩 퇴적물을 채취하고, 직경 0.5 mm 망목의 체로 대형저서동물을 걸러낸 후 중성 포르말린으로 고정하였다.

퇴적물 특성 분석

퇴적물의 입도를 구하기 위하여 현장에서 일정량의 표층 퇴적물을 채취한 후 실험실에서 과산화수소수(H_2O_2)와 염산(HCl)을 넣어 유기물과 탄산염을 제거 후 습식체질

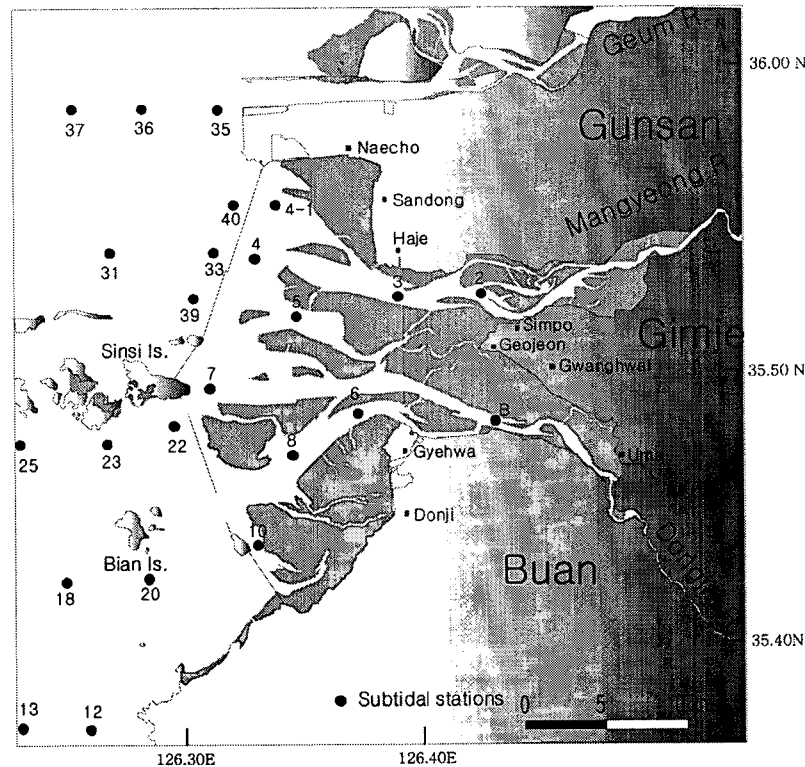


Fig. 1. Study site for subtidal macrobenthic community in Saemangeum area.

(wet sieving)하여 4 ϕ 이하의 조립질과 그 이상의 세립질로 구분하였다. 4 ϕ 이하의 조립질 시료는 0.5 ϕ 간격으로 건식체질(dry sieving)하여 무게의 백분율을 구하였고, 4 ϕ 이상의 세립질 시료는 전체를 대표하는 2g을 취해 300 ml의 0.1% 확산제 용액에 넣고 초음파 자기진동기로 균일하게 분산시킨 후 자동 입도분석기(Sedigraph 5100D)로 분석하였다. 이러한 과정을 거쳐 퇴적물의 조직학적 변수인 평균입도(MGS, mean grain size)와 분급도(sorting) 등을 계산하였다. 퇴적물의 화학적산소요구량(COD; chemical oxygen demand)은 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002)에 따라 측정하고 그 값은 mg/g으로 나타내었다.

저서생물 동정 및 군집분석

현장에서 포르말린으로 고정된 시료는 실험실에서 동물군별로 선별한 후, 가능한 한 종 수준까지 동정하였고, 개체수를 계수하고, 생체량(wet weight, g)을 측정하였다. 출현 종과 개체수의 자료를 이용한 집괴분석은 각 정점간의 유사도(similarity)를 파악하기 위하여, Bray and Curtis (1957)의 similarity index를 이용하였다. 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 이용하였다. 군집분석은 PRIMER

(Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer package를 이용하여 수지도(dendrogram)로 나타내었다. 분석에서 중별 개체수는 우점종의 출현으로 인한 자료의 편중을 피하기 square-root로 변환하였다. 표층 퇴적물의 평균 입도와 COD 분포는 Surfer[®] computer package를 이용하여 contour plot으로 나타내었다.

3. 결과 및 토론

조하대 저서생태계 서식환경 변화

새만금 방조제 인근의 해저 퇴적물은 주로 사질, 니사질 및 사니질로 이루어져 있는데, 조사 기간 중 평균입도는 2~4.5 ϕ 의 범위를 보였다(Fig. 2). 방조제 내측 퇴적물은 외측에 비해 조립한 경향을 보였는데, 내측 퇴적물이 사질이나 니사질인 반면, 외측 퇴적물은 니사질 및 사니질이 많이 나타났다.

2004년 2월에서 2005년 5월까지 조사 기간 중 새만금 인근 퇴적물 입도의 변화 양상은 크게 3가지로 요약될 수 있다. 첫째는 신시도 남부, 수로 인근에 비교적 조립한 퇴적상이 유지되고 있는 것이다. 2003년 6월에 4호 방조제가 막힌 이후 2005년 8월 본 조사 시점까지 방조제 내·외 부간의 해수 유통은 신시 개방구간과 가력 개방구간을 통

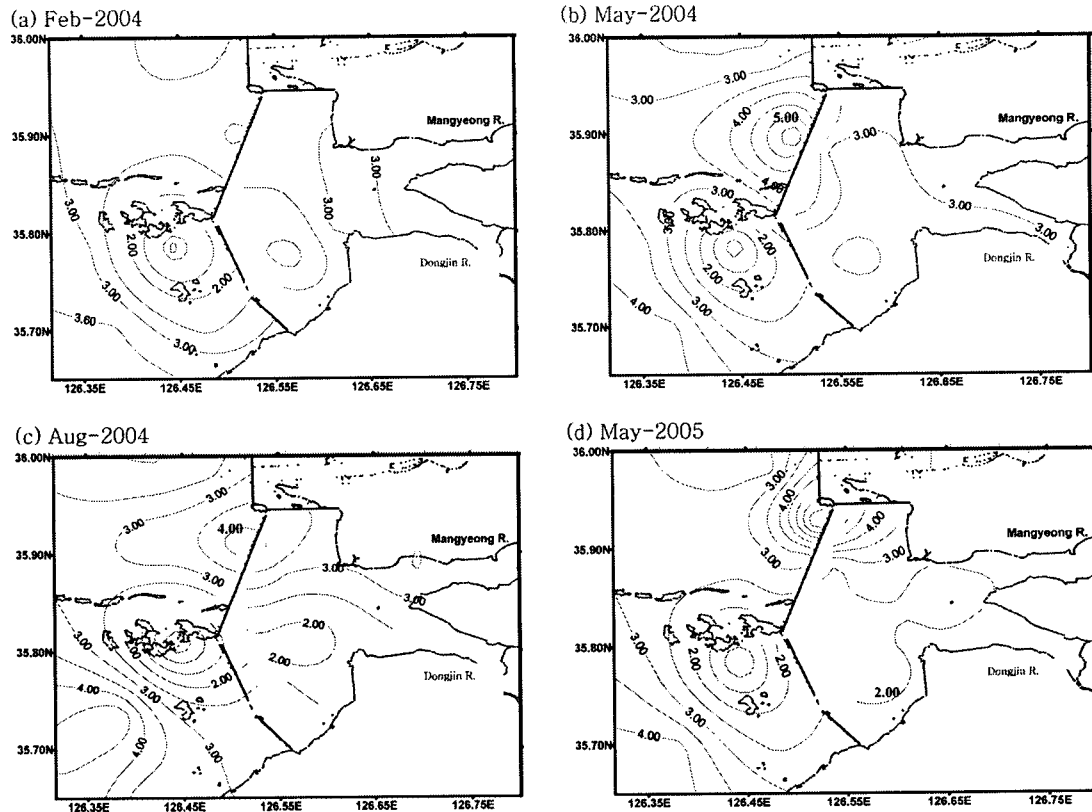


Fig. 2. Temporal variations of mean grain size of the surface sediments (ϕ) in Saemangeum area.

해 이루지고 있었는데, 신시 개방구간을 통한 유동량이 월등이 많았으며, 빠른 유속으로 인하여, 신시 개방구간에 이어지는 주수로 부근(정점 23인근)에서 매우 조립하고(평균입도는 $-0.06 \sim 0.6$) 분급이 불량하며, 역질(Gravel) 입자가 포함된 퇴적물이 나타나고 있다(Fig. 1, Fig. 2). 두 번째 양상은 4호 방조제 외측(정점 33, Fig. 1)에 세립질이 퇴적되고 있으며 그 범위가 넓어지는 경향을 보이고 있다(Fig. 2). 2005년 조사에서는 세립질의 영향권이 넓어지는 방향을 알아보기 위하여, 정점 33인근에 2개의 정점(정점 39, 정점 40, Fig. 1)을 추가하였는데, 정점 33의 북쪽, 즉 정점 40인근에서 세립한 퇴적물이 나타났다(Fig. 1, Fig. 2d). 이러한 퇴적양상은 2003년 6월 4호 방조제가 막힌 이후 유속이 낮아진 결과로 보인다. 세 번째 경향은 방조제 내측 4호 방조제와 인접한 지역과 북쪽의 산동지역에서 세립한 퇴적물이 나타나는 것이다(정점 4, Fig. 1). 이러한 경향은 2004년 5월 이후 나타나 2005년 5월까지 이어지고 있다(Fig. 2). 방조제 내측의 수리 모델결과에서도 산동지역은 수류의 흐름이 약해지고 정체될 것이라 예상된 지역으로서(해양수산부 2005) 수류의 흐름이 약해지면서 세립한 퇴적물이 나타난 것으로 추정된다(박 등 2000).

조하대의 연성 저질에 서식하는 저서생물의 환경으로서

퇴적물의 입도와 함께 중요한 것 중의 하나는 유기물 농도이다(Whitlatch 1981). 유기물 농도는 저서생물의 먹이 원으로서 유기물이 얼마나 원활하게 공급되는지를 보여 줄 수 있다. 본 조사에서는 유기물 농도의 지표로서 퇴적물 COD를 측정하였다. 퇴적물의 COD는 입도분포와 유사한 경향을 보여, 세립한 퇴적물에서 높은 값을 나타냈다(Fig. 2, Fig. 3). 퇴적물 COD 값의 시간에 따른 변화를 살펴보면, 2004년 5월 4호 방조제 외곽에서 높은 값을 보였고, 8월에도 절대값은 약간 낮아졌으나 유사한 경향을 보였다(Fig. 3). 2005년 5월에 4호 방조제 외곽의 COD는 높지 않았고, 약간 북쪽에 위치한 지점에서 비교적 높은 COD 농도를 보였다. 이 시기에는 새만금 방조제에서 외해로 갈수록 COD가 높아지는 경향을 보였는데, 특히 군산항 서쪽에 위치한 정점 37에서 높은 COD 값을 보였다(Fig. 1, Fig. 3).

Fig. 4에 조사 기간 중 방조제 내부와 외부의 입도와 COD 변화를 나타내었다. 전반적으로 방조제 외부의 퇴적물이 세립한 경향을 보여 큰 평균입도 값을 나타냈다. 조사 기간 중 시간에 따른 평균입도의 변화는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았는데, 명확하지는 않으나 방조제 내부 퇴적물 입도가 조립해지는 경향이 있었다. COD는 평균입도

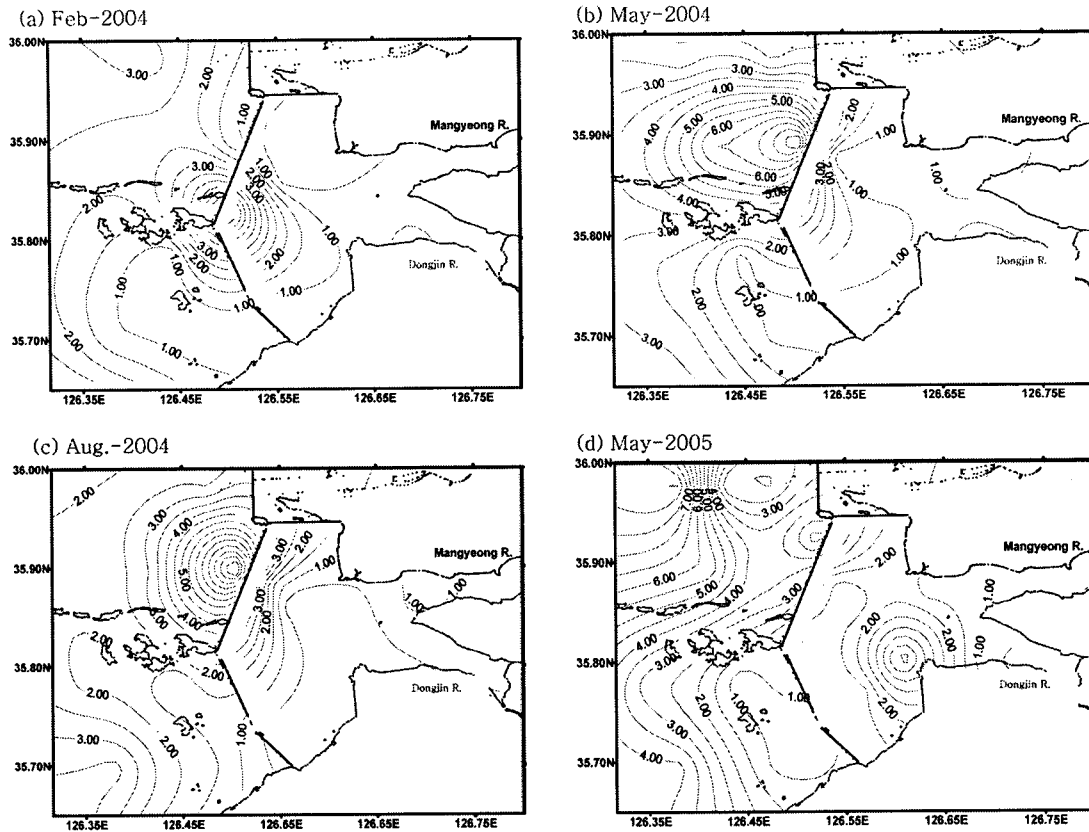


Fig. 3. Temporal variations of chemical oxygen demand of surface sediment (mg/g) in Saemangeum area.

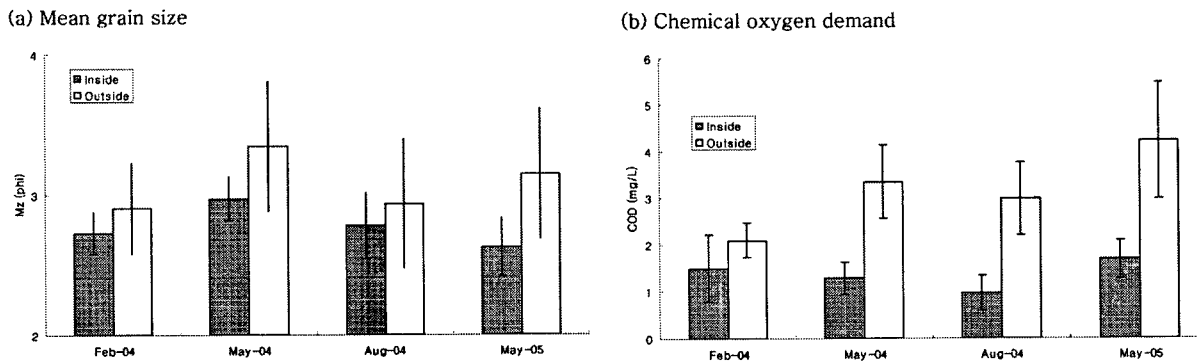


Fig. 4. Comparison of mean grain size (a) and chemical oxygen demand (b) between inside and outside the Saemangeum dike. Mean values with standard error were presented.

와 마찬가지로 방조제 외부 퇴적물에서 높은 경향을 나타냈다. 특히 2004년 2월에서 2005년 5월로 가면서 방조제 내부의 COD는 큰 변화를 보이지 않은 반면, 방조제 외부 퇴적물의 COD는 높아지는 경향이 나타났다(Fig. 4b). 방조제 외측에 COD가 높아진 것은 방조제 건설로 인한 조류약화가 세립하고 유기물 농도가 높은 퇴적물을 방조제 외측에 퇴적되도록 했을 가능성이 있다. 특히 4호 방조제 외곽과 북쪽에 세립하고 COD가 높은 퇴적물의 축적이

진행되면서 내측과의 차이가 커진 것으로 여겨진다. 평균 입도와 COD에서 보인 퇴적물 특성의 차이는 방조제 내측과 외측의 퇴적 환경이 분리되고 있음을 시사하고 있다.

조하대 저서생물의 출현종 수, 서식밀도의 변화

저서 환경변화는 그 곳에 서식하는 생물의 종류와 서식 밀도를 변화시킨다. 환경변화가 어떤 방향으로 이루어지던지 그 변화는 그 곳에 본래 서식하던 생물들에게는 교

Table 1. Number of species and density of macrobenthic fauna occurred in Saemangeum subtidal area. Results of 1988 survey by Choi and Koh (1994) was presented for comparison.

	1988 (Choi and Koh 1994)*	2002	2003	2004	2005
Sampling dates	June	Apr, May, Aug, Nov	Feb, May, Aug	Feb, May, Aug	May, Aug
Number of sampling st.	39	87	116	60	50
Number of species	61	435	416	334	303
Density (indv./m ²)	723	1,552	1,121	668	1,245

*: mesh size was 1 mm; see text for details.

란(disturbance)으로 작용하며 일단 종 수는 줄어들 가능성이 높다(Sanders 1968). 교란에서 회복되어 다시 안정된 저서환경을 이룰 것인지 아니면 영구적인 종 수 감소가 일어날 것인지는 교란의 종류와 강도에 따라 달라질 것이다. 새만금 방조제 건설에 따른 출현종 수와 서식밀도의 변화를 살펴 보기 위하여, 새만금 방조제 공사 이전의 자료(Choi and Koh 1994)와 2002년 이후 본 조사 자료를 비교하였다(Table 1). Choi and Koh(1994)에 의해 1988년에 실시된 조사와 본 조사의 직접적인 비교는 다소 힘든 면이 있는데, 조사 장소, 시기, 방법 등에서 차이가 있기 때문이다. 2002년 이후 본 조사가 계절별 조사인데 반해 1988년 조사는 초여름(6월말) 1회 조사한 자료이며, 조사 정점도 본 조사에 비해 넓은 지역에 적은 정점에서 조사가 이루어졌으며, 특히 저서생물을 퇴적물로부터 골라내기 위해 사용된 체의 망목 크기가 1988년 연구에서는 1 mm이고 본 연구에서는 0.5 mm로 달라 본 연구에서 작은 0.5~1 mm 크기 범위의 저서생물(특히 다모류)이 높게 채집되었을 가능성이 크다. 1988년 조사에서 출현종 수는 61종으로서 2002년 이후 303~435종에 비해 매우 낮았다. 서식밀도에 있어서도 2002년 이후 조사가 2004년을 제외하고는 1988년 조사에 비해 1.5배 이상 높았다. 이러한 차이는 저서생태계의 변화에 의해 야기되기 보다는 조사방법 차이에서 왔을 가능성이 크다. 다만, 조사 방법 중 망목 크기와 조사정점 수 중 어떤 요인이 출현종 수와 서식밀도에 더 중요하게 작용했는지는 추론해 볼 수 있는데, 정점수가 늘어날수록 출현종 수는 많아지는 경향이 있는 반면, 단위면적당 서식밀도는 크게 달라지지 않는다. 1988년 자료와 본 조사 자료에서 출현종 수의 차이가 5배 이상인 것에 비해 서식밀도는 1.5~2배 정도로 비교적 낮았는데, 이는 망목 크기보다는 조사 정점 수에서 비롯되었을 가능성을 시사한다. 조사방법의 차이에도 불구하고 2002년 이후 조사에서 보인 높은 출현종 수와 서식밀도는 1988년 이후 새만금 방조제 공사로 인한 교란, 그로 인한 저서생태계 종 수 및 서식밀도 감소 효과는 나타나지 않았을 가능성이 높다. 본 조사에서 나타난 조하대 저서동물의 출현종 수는 천수만에서 보고된 311종, 진해만의 287종, 경기

만의 266종보다 높은 편인데, 이는 지역이 넓고 하구에 위치하여 다양한 염분 및 퇴적물 조건 등이 조성되어 서식 환경이 다양하기 때문으로 추정된다(박 등 2000; 임과 최 1998).

2002~5년 동안 출현종 수를 살펴보면 2002년 4월 이후의 출현종 수는 감소하는 경향을 보이고 있다(Table 1). 출현종 수의 감소는 조사정점의 감소가 그 원인일 수도 있으나, 2003년에는 2002년에 비해 조사정점이 늘었음에도 불구하고 출현종 수는 감소하여, 방조제 공사로 인한 영향이 있음을 시사한다. 2002년 이후 출현종 수 및 서식밀도의 계절별 변화를 방조제 내·외부로 구분하여 알아 보았다(Fig. 5). 계절변화로는 여름철에 높은 경향을 보였으며, 연간변화로는 2004년에 낮은 값을 보이고, 2005년에는 방조제 내부 출현 종수는 높아지고 외부 출현 종수는 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 5a,b). 방조제 내부의 출현종 수는 2003년 6월 4호 방조제가 막힌 이후 2004년 5월까지 감소하였으나, 2005년에는 다시 높아지는 경향을 보였다(Fig. 5a). 방조제 내부의 서식밀도도 출현종 수와 유사한 경향을 보여 2003년 6월 4호 방조제가 완공된 이후 감소하다가 2005년 들어 증가하였다(Fig. 5c). 이러한 경향은 생체량에서 뚜렷하게 나타났는데, 2003년 6월에 최소값을 보인 이후 계속 증가하고 있다(Fig. 5e). 이러한 생체량 증가는 개량조개(*Macra chinensis*) 등 생체량이 큰 이매패류가 증가하였기 때문이다. 방조제 내부의 출현종 수와 생체량 변화를 종합하여 보면 2003년 6월 이후 2004년까지는 종 수는 줄어들고 생체량은 늘어나는 경향을 보이다가 2005년 이후 종 수와 생체량이 모두 증가하여, 생태계가 안정되는 조짐을 보이고 있으나 현재에도 환경변화가 진행되고 있으며, 향후 변화를 주시할 필요가 있다.

방조제 외부는 방조제 내부와는 다른 양상을 보이고 있는데, 계절변화에 따라 여름철에 높은 출현종 수를 보이거나 전반적으로는 2003년 4호 방조제가 막힌 이후 출현종 수가 감소하고 있으며, 2005년에도 이러한 경향이 이어지고 있다(Fig. 5b). 서식밀도와 생체량은 방조제 내부와 마찬가지로 2003년에 낮은 값을 보이고 이후 증가하는 양상을 보이고 있다(Fig. 5d,f). 방조제 외부에서 출현종 수는 줄

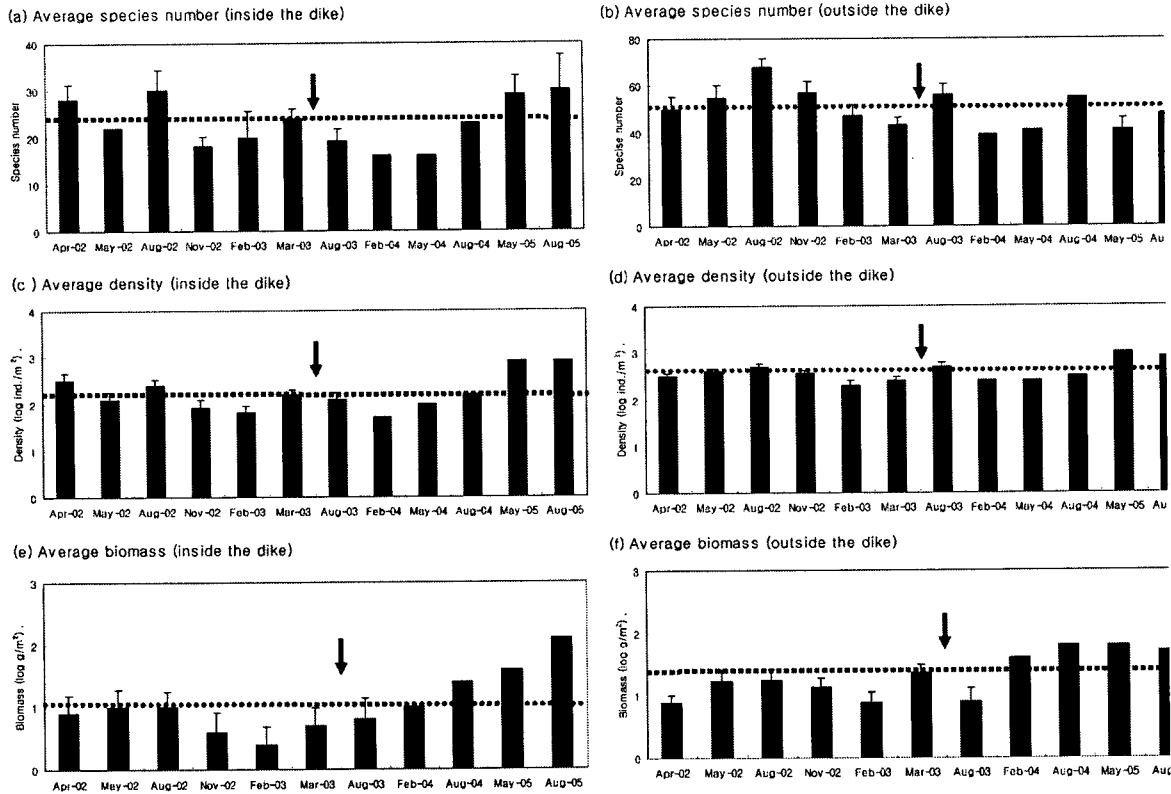


Fig. 5. Temporal variations of species number (a)(b), density (c)(d) and biomass (e)(f) in inside and outside of the Sae-mangeum dike. Error bar represents standard error. The arrow shows the 4th dike completion in June-03. Dotted line shows mean value.

어플고 서식밀도와 생체량은 커지는 경향은 교란된 환경에서 기회종(opportunistic species)이 우점할 때 나타나는 양상과 유사하여, 방조제 외측 저서생태계의 교란이 진행 중임을 시사한다(Blanchard and Feder 2003).

조하대 저서생물의 출현 분류군별 조성비, 우점종의 변화

저서생태계의 환경변화는 서식생물 종을 변화시킬 것이며, 이는 우점종의 변화로 나타날 것이다. 2002년 이후 출현 저서동물을 분류군별도 나누어 보면 서식밀도에 있어서는 다모류가 가장 많이 나타나 전체 개체수의 60% 정도를 차지하였다. 연체동물이 20% 내외로 두 번째로 우점하였고, 갑각류가 14~17%를 차지하였다. 생체량으로는, 연체동물이 절대 우점하여, 전체의 60~90%를 차지하였다. 특히 방조제 내부에서는 생체량이 큰 이매패류에 의해 우점도가 80% 이상을 유지하였다. 생체량에 있어서 연체동물 다음으로 우점한 분류군은 외부와 내부가 달랐는데, 내부의 경우 갑각류가 5% 정도 차지한 반면, 외부의 경우 극피동물이 30% 내외로 비교적 큰 생체량을 보였다.

방조제 내·외부에서 분류군의 조성비 변화를 계절별로 나타내면 Fig. 6과 같다. 방조제 내부에서 2002~3년 동

안 서식밀도로는 다모류가 51%로 가장 높았고, 연체동물 역시 41%로 높은 값을 보였고, 갑각류는 7%를 나타냈다(Fig. 6a). 2004~5년 동안에는 연체동물의 비율이 눈에 띄게 줄어들고 있으며, 다모류와 갑각류의 비율이 상대적으로 높아지는 경향을 보였다. 2005년 8월에는 연체동물의 비율이 다시 높아졌는데, 갑각류의 비율은 더 높아진데 반하여, 다모류의 비율은 줄어들었다(Fig. 6a). 방조제 외부에서 분류군의 변화는 방조제 내부와 유사하여, 서식밀도에 있어서, 2004년 동안에는 2002~3년에 비해 다모류가 증가하는 경향이 보이나 2005년 8월에는 연체동물이 우점하고 있다(Fig. 6b). 2005년 8월 방조제 내·외부에서 연체류의 비율이 높아진 것은 생체량이 큰 개랑조개(*Macra chinensis*)가 높은 밀도로 나타난 것이 주요 원인이나 개랑조개 이외에도 계화도조개나 *Venus fovelota*와 같은 이매패류가 비교적 높은 밀도도 나타났기 때문이다.

우점 분류군의 변화를 생체량으로 살펴보면 방조제 내부와 외부가 매우 다른 경향을 보이는데, 내부의 경우 이매패류를 비롯한 연체동물의 생체량이 절대 우점하고 있다. 방조제 내부에서는 2004~5년 2002~3년에 비해 연체동물 이외의 생체량 비율이 높아지는 경향이며 특히 2005

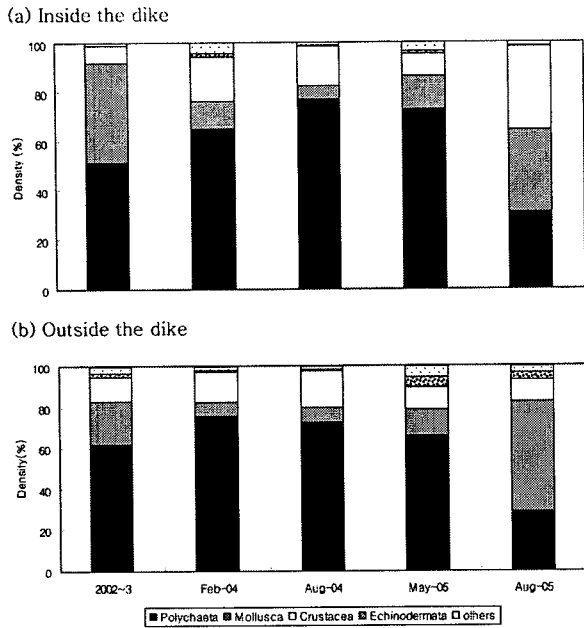


Fig. 6. Temporal variations of proportions of each taxonomic groups (by density) in inside (a) and outside (b) the dike.

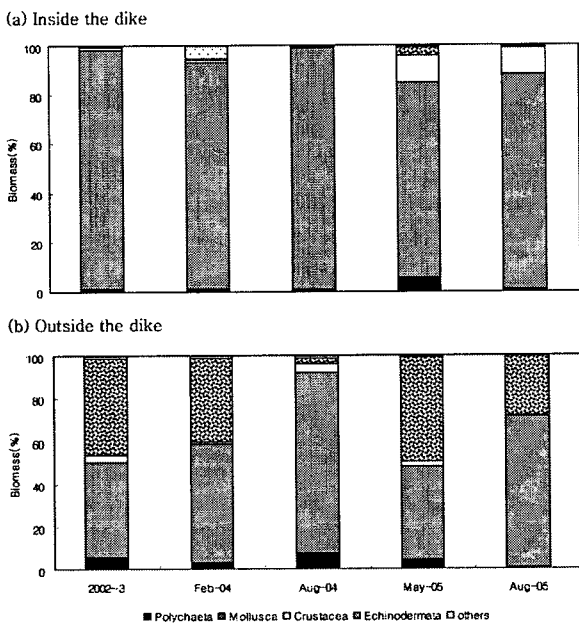


Fig. 7. Temporal variations of proportions of each taxonomic groups (by biomass) in inside (a) and outside (b) the dike.

년에는 갑각류의 비율이 높아지고 있다(Fig. 7a). 방조제 외부에서는 연체동물 이외에 극피동물의 생체량이 높게 나타나고 있으나, 우점 비율은 조사 시기마다 큰 변화를 보였다. 2004년 8월과 2005년 8월에 연체동물의 생체량

이 특히 높았고, 나머지 계절에는 연체동물과 극피동물의 생체량이 유사한 비율을 보였다(Fig. 7).

새만금 조하대 저서동물의 우점종 변화를 알아보기 위하여, 서식밀도가 높은 상위 15종의 저서동물을 Table 2(방조제 내부)와 Table 3(방조제 외부)에 나타냈다. 1988년 6월에 현재 방조제 내부에 해당하는 만경강 동진강 하구유역에서 가장 우점한 종은 계화도조개(*Potamocorbula amurensis*)였는데, 계절간/연간 변화는 있으나 2002년 이후에도 꾸준히 나타나고 있으며, 2005년에는 비교적 높은 밀도로 나타나고 있다(Table 2). 그 외에 1988년도에 높게 나타났던 *Nephtys californiensis*, 치로리미갑갯지렁이(*Glycera chirori*) 등의 다모류가 2002년 이후 산발적으로 나타나고 있어, 방조제 내부에서 1988과 2002년 이후의 우점종의 큰 변화는 감지할 수 없었다. 이들 우점종은 1988년 방조제 내부 조건대 조사(안과 고 1992)에서 우점했던 종과도 유사하였다. 예쁜매끈얼굴갯지렁이(*Prionospio (Minuspio) japonica*)와 버들갯지렁이류(*Heteromastus filiformis*), 양손갯지렁이류(*Magelona sp.1*) 등은 2002년 이후 전체절에 골고루 나타나고 있다. 이와는 대조적으로 2002~3년 사이 가장 높은 밀도로 나타났던 서해비단고둥(*Umbonium thomasi*)이 2004~5년 동안 우점종에 포함되지 못하여 변화를 보였다. 또한 2005년 8월에는 이전에 우점하지 않던 절지동물 따개비류(*Balanus reticulatus*)와 개량조개(*Mactra chinensis*)가 방조제 내부에서 우점하였다.

방조제 외부의 경우도 1988년과 2002년 이후에 우점종에 있어서 눈에 띄는 차이는 볼 수 없었다(Table 3). 1988년 6월 조사에서 우점적으로 나타났던 개량조개(*Mactra chinensis*)가 2002년 이후에도 나타났는데, 2002~3년 동안은 비교적 높은 밀도로 나타났고, 2004~5년 동안 우점종에 포함되지 않았다. 2005년 8월 대량으로(8,710개체/m²) 나타났다. 1988년 6월에 우점적으로 나타났던 양손갯지렁이류(*Magelona japonica*)는 2002년 이후에 나타나지 않았고 대신 *Magelona sp.*이 꾸준히 가장 높은 밀도로 나타났는데, *Magelona japonica*가 소멸된 것인지 아니면 동일종을 다른 연구자가 다르게 분류한 것인지는 향후 확인이 필요하다. 2002년 이후 *Magelona sp.*는 거의 모든 조사에서 가장 우점하였다. 전반적으로 방조제 외곽에서 우점종의 큰 변화는 감지되지 않고 있으나, 저서 환경이 빠르게 변화하는 신시도 남부수로인근, 4호 방조제 외곽 등에서 장기적인 우점종 변화를 주시할 필요가 있을 것이다.

조하대 저서생물 군집

새만금 방조제 인근 조하대 대형저서동물군집의 동태를 살피기 위하여, 저서동물의 출현 개체수 자료를 근거로 각 조사시기별로 집괴분석을 실시하였다. 2004년 2월부터

Table 2. Dominant macrofauna species change in inside the Saemangeum dike. See Table 5 for Taxon description.

1988 (Choi & Koh)*			Nov-02~Aug-03			Feb-04						
Rank	Taxon	Species	Density (indiv./m)	Domin. (%)	Taxon	Species	Density (indiv./m)	Domin. (%)	Taxon	Species	Density (indiv./m)	Domin. (%)
1	MBi	<i>Potamocorbula amurensis</i>	246		MGs	<i>Umbonium thomasi</i>	163	23.4	Apol	<i>Hesione</i> sp.	23.7	15.7
2	APol	<i>Nephtys californiensis</i>	65		MBi	<i>Potamocorbula amurensis</i>	97	13.9	Apol	<i>Heteromastus filiformis</i>	20.0	13.2
3	APol	<i>Prionospio cirrifera</i>	62		APol	<i>Prionospio japonica</i>	92	13.2	Apol	<i>Minuspio japonica</i>	12.6	8.3
4	APol	<i>Glycera chirori</i>	54		MBi	<i>Macra chinensis</i>	31	4.4	CAM	<i>Melita denticulata</i>	7.4	4.9
5	APol	<i>Glycinde</i> sp.	23		APol	<i>Mediomastus californiensis</i>	30	4.4	Apol	<i>Mediomastus californiensis</i>	7.0	4.7
6					APol	<i>Heteromastus filiformis</i>	22	3.1	Apol	<i>Glycera chirori</i>	6.3	4.2
7					APol	<i>Glycinde gurjanovae</i>	17	2.4	Apol	<i>Nephtys californiensis</i>	6.3	4.2
8					APol	<i>Glycera subaenea</i>	17	2.4	MBi	<i>Moerella rutila</i>	4.1	2.7
9					MGs	<i>Reticunassa festiva</i>	13	1.9	CAM	<i>Mandibulophoxus mai</i>	3.0	2.0
10					MBi	<i>Moerella rutila</i>	13	1.8	Apol	<i>Glycinde gurjanovae</i>	2.6	1.7
11					CAM	<i>Mandibulophoxus mai</i>	12	1.7	Apol	<i>Nephtys polybranchia</i>	2.2	1.5
12					MBi	<i>Nuttallia japonica</i>	11	1.6	Apol	<i>Aricidea assimilis</i>	2.2	1.5
13					MGs	<i>Pleurobranchaea novaezealandiae</i>	9	1.4	MBi	<i>Potamocorbula amurensis</i>	2.2	1.5
14					APol	<i>Magelona</i> sp. 1	9	1.3	Apol	<i>Hesionidae</i> sp.	2.2	1.5
15					MBi	<i>Macra veneriformis</i>	9	1.3	CAM	<i>Sinocorophium sinensis</i>	2.2	1.5
Aug-04												
Rank	Taxon	Species	Density (indiv./m)	Domin. (%)	Taxon	Species	Density (indiv./m)	Domin. (%)	Taxon	Species	Density (indiv./m)	Domin. (%)
1	Apol	<i>Cirrophorus</i> sp.	131.5	24.1	APOL	<i>Minuspio japonica</i>	1880	20.8	MBi	<i>Macra chinensis</i>	2,064	18.4
2	Apol	<i>Prionospio membranacea</i>	44.4	8.1	APOL	<i>Heteromastus filiformis</i>	2149	23.7	APOL	<i>Heteromastus filiformis</i>	657	5.8
3	Apol	<i>Magelona</i> sp.	42.6	7.8	APOL	<i>Mediomastus californiensis</i>	670	7.4	APOL	<i>Minuspio japonica</i>	587	5.2
4	Apol	<i>Glycera chirori</i>	34.1	6.2	ONE	<i>Nemertinea</i> sp.	159	1.8	MBi	<i>Potamocorbula amurensis</i>	566	5.0
5	CDM	<i>Ogyrides orientalis</i>	30.4	5.6	APOL	<i>Nephtys californiensis</i>	201	2.2	APOL	<i>Magelona</i> sp.	403	3.6
6	Apol	<i>Minuspio japonica</i>	28.9	5.3	APOL	<i>Glycera chirori</i>	119	1.3	CCI	<i>Balanus reticulatus</i>	2,280	20.3
7	Apol	<i>Hesionidae</i> sp.	28.1	5.2	MBi	<i>Moerella jedoensis</i>	316	3.5	APOL	<i>Glycinde gurjanovae</i>	185	1.6
8	Apol	<i>Mediomastus californiensis</i>	24.8	4.5	APOL	<i>Magelona</i> sp.	179	2.0	MBi	<i>Moerella jedoensis</i>	330	2.9
9	Apol	<i>Nephtys californiensis</i>	15.9	2.9	OFI	<i>Sagitta</i> sp.	89	1.0	APOL	<i>Mediomastus californiensis</i>	257	2.3
10	Apol	<i>Nephtys californiensis</i>	14.8	2.7	APOL	<i>Glycinde gurjanovae</i>	97	1.1	ONE	<i>Nemertinea</i> sp.	158	1.4
11	Apol	<i>Armandia lanceolata</i>	10.7	2.0	CAM	<i>Synchelidium miraculum</i>	63	0.7	APOL	<i>Scoloplos armiger</i>	181	1.6
12	Apol	<i>Heteromastus filiformis</i>	8.9	1.6	APOL	<i>Lumbrineris nipponica</i>	67	0.7	APOL	<i>Nephtys californiensis</i>	78	0.7
13	CAM	<i>Synchelidium miraculum</i>	8.1	1.5	APOL	<i>Prionospio membranacea</i>	367	4.1	APOL	<i>Glycera subaenea</i>	61	0.5
14	CAM	<i>Mandibulophoxus mai</i>	6.7	1.2	MBi	<i>Potamocorbula amurensis</i>	117	1.3	APOL	<i>Glycera chirori</i>	59	0.5
15	Apol	<i>Nephtys polybranchia</i>	6.3	1.2	CIN	Insect unid.	51	0.6	CDB	Crab unid.	54	0.5
May-05												
Rank	Taxon	Species	Density (indiv./m)	Domin. (%)	Taxon	Species	Density (indiv./m)	Domin. (%)	Taxon	Species	Density (indiv./m)	Domin. (%)
1	APOL	<i>Minuspio japonica</i>	1880	20.8	MBi	<i>Macra chinensis</i>	2,064	18.4	MBi	<i>Macra chinensis</i>	2,064	18.4
2	APOL	<i>Heteromastus filiformis</i>	2149	23.7	APOL	<i>Heteromastus filiformis</i>	657	5.8	APOL	<i>Heteromastus filiformis</i>	657	5.8
3	APOL	<i>Mediomastus californiensis</i>	670	7.4	APOL	<i>Minuspio japonica</i>	587	5.2	APOL	<i>Minuspio japonica</i>	587	5.2
4	ONE	<i>Nemertinea</i> sp.	159	1.8	MBi	<i>Potamocorbula amurensis</i>	566	5.0	MBi	<i>Potamocorbula amurensis</i>	566	5.0
5	APOL	<i>Nephtys californiensis</i>	201	2.2	APOL	<i>Magelona</i> sp.	403	3.6	APOL	<i>Magelona</i> sp.	403	3.6
6	APOL	<i>Glycera chirori</i>	119	1.3	CCI	<i>Balanus reticulatus</i>	2,280	20.3	CCI	<i>Balanus reticulatus</i>	2,280	20.3
7	MBi	<i>Moerella jedoensis</i>	316	3.5	APOL	<i>Glycinde gurjanovae</i>	185	1.6	APOL	<i>Glycinde gurjanovae</i>	185	1.6
8	APOL	<i>Magelona</i> sp.	179	2.0	MBi	<i>Moerella jedoensis</i>	330	2.9	MBi	<i>Moerella jedoensis</i>	330	2.9
9	OFI	<i>Sagitta</i> sp.	89	1.0	APOL	<i>Mediomastus californiensis</i>	257	2.3	APOL	<i>Mediomastus californiensis</i>	257	2.3
10	APOL	<i>Glycinde gurjanovae</i>	97	1.1	ONE	<i>Nemertinea</i> sp.	158	1.4	ONE	<i>Nemertinea</i> sp.	158	1.4
11	CAM	<i>Synchelidium miraculum</i>	63	0.7	APOL	<i>Scoloplos armiger</i>	181	1.6	APOL	<i>Scoloplos armiger</i>	181	1.6
12	APOL	<i>Lumbrineris nipponica</i>	67	0.7	APOL	<i>Nephtys californiensis</i>	78	0.7	APOL	<i>Nephtys californiensis</i>	78	0.7
13	APOL	<i>Prionospio membranacea</i>	367	4.1	APOL	<i>Glycera subaenea</i>	61	0.5	APOL	<i>Glycera subaenea</i>	61	0.5
14	MBi	<i>Potamocorbula amurensis</i>	117	1.3	APOL	<i>Glycera chirori</i>	59	0.5	APOL	<i>Glycera chirori</i>	59	0.5
15	CIN	Insect unid.	51	0.6	CDB	Crab unid.	54	0.5	CDB	Crab unid.	54	0.5

Table 3. Dominant macrofauna species change in outside the Saemangeum dike. See Table 5 for Taxon description.

1988 (Choi & Koh)*		Nov-02-Aug-03			Feb-04						
Rank	Taxon	Density (indiv./m)	Domin. (%)	Taxon	Species	Density (indiv./m)	Domin. (%)	Taxon	Species	Density (indiv./m)	
1	MBi	<i>Macra chinensis</i>	43	APol	<i>Magelona</i> sp.	175	12.5	APol	<i>Sternaspis scutata</i>	122.4	
2	APol	<i>Magelona japonica</i>	38	APol	<i>Nephtys polybranchia</i>	86	6.1	APol	<i>Magelona</i> sp.	91.5	
3	APol	<i>Owenia fusiformis</i>	35	MBi	<i>Macra chinensis</i>	64	4.6	APol	<i>Nephtys polybranchia</i>	68.2	
4	APol	<i>Anatides koreana</i>	28	MBi	<i>Raetellops pulchellus</i>	52	3.7	APol	<i>Glycinde gurjanovae</i>	41.8	
5	APol	<i>Nephtys polybranchia</i>	25	APol	<i>Mediomastus californiensis</i>	50	3.6	APol	<i>Cirrophorus armatus</i>	38.5	
6	APol	<i>Prionospio japonica</i>	24	APol	<i>Amphisamytha japonica</i>	43	3.1	CAM	<i>Urothoe</i> sp. 1	37.9	
7	APol	<i>Prionospio cirrifera</i>	22	APol	<i>Sternaspis scutata</i>	41	2.9	CAM	<i>Ampelisca cyclops iyoensis</i>	27.9	
8	APol	<i>Nephtys californiensis</i>	22	APol	<i>Arctidea assimilis</i>	41	2.9	APol	<i>Notomastus</i> sp.	27.9	
9	APol	<i>Heteromastus filiformis</i>	22	APol	<i>Cirrophorus furcatus</i>	30	2.2	APol	<i>Enclymene oerstedii</i>	23.9	
10				MGs	<i>Caecum glabella</i>	30	2.1	APol	<i>Sigambra tentaculata</i>	23.6	
11				APol	<i>Tharyx</i> sp.	28	2	APol	<i>Mediomastus californiensis</i>	18.8	
12				CDM	<i>Ogyrides orientalis</i>	24	1.7	APol	<i>Arctidea assimilis</i>	18.2	
13				Others	<i>Nemeritea</i> sp. 3	23	1.6	APol	<i>Anatides koreana</i>	15.8	
14				APol	<i>Sigambra tentaculata</i>	22	1.6	CAM	<i>Urothoe grimaldii japonica</i>	15.5	
15				APol	<i>Notomastus latericeus</i>	20	1.4	APol	<i>Amphisamytha japonica</i>	12.7	
Aug-04											
1	APol	<i>Magelona</i> sp.	155.5	13.5	APOL	<i>Magelona</i> sp.	3,858	20.6	MBI	<i>Macra chinensis</i>	8,710
2	APol	<i>Nephtys polybranchia</i>	100.6	8.7	ONE	<i>Nemeritea</i> sp.	893	4.8	APOL	<i>Magelona</i> sp.	1,657
3	APol	<i>Sternaspis scutata</i>	59.1	5.1	APOL	<i>Mediomastus californiensis</i>	819	4.4	ONE	<i>Nemeritea</i> spp.	621
4	APol	<i>Cirrophorus furcatus</i>	57.0	4.9	CAM	<i>Synchelidium miraculum</i>	449	2.4	EOP	<i>Ophiura kinbergi</i>	539
5	APol	<i>Arctidea assimilis</i>	53.3	4.6	EST	<i>Asteroidea</i> unid.	475	2.5	MGS	<i>Philine argenata</i>	370
6	APol	<i>Mediomastus californiensis</i>	51.5	4.5	MBI	<i>Moerella jodoensis</i>	452	2.4	APOL	<i>Nephtys polybranchia</i>	489
7	CDB	<i>Xenopthalmus pinnotheroides</i>	48.2	4.2	APOL	<i>Arctidea assimilis</i>	683	3.6	MBI	<i>Venus foveolata</i>	301
8	APol	<i>Glycinde gurjanovae</i>	46.7	4.0	APOL	<i>Sigambra tentaculata</i>	369	2.0	MBI	<i>Moerella jodoensis</i>	453
9	CAM	<i>Urothoe</i> sp. 1	32.1	2.8	APOL	<i>Glycinde gurjanovae</i>	338	1.8	MBI	<i>Nipponomysella subtruncata</i>	582
10	APol	<i>Notomastus</i> sp.	25.5	2.2	APOL	<i>Prionospio membranacea</i>	512	2.7	APOL	<i>Mediomastus californiensis</i>	371
11	APol	<i>Heteromastus filiformis</i>	22.1	1.9	APOL	<i>Nephtys polybranchia</i>	522	2.8	APOL	<i>Glycinde gurjanovae</i>	242
12	APol	<i>Paraonis gracilis</i>	22.1	1.9	MBI	<i>Nitidotellina minuta</i>	249	1.3	CAM	<i>Ampelisca brevicornis</i>	325
13	APol	<i>Sigambra tentaculata</i>	22.1	1.9	APOL	<i>Notomastus</i> sp.	477	2.5	MBI	<i>Raetellops pulchella</i>	349
14	APol	<i>Anatides koreana</i>	17.3	1.5	EOP	<i>Amphipplus japonicus</i>	225	1.2	EEC	<i>Echinocardium cordatum</i>	290
15	CAM	<i>Synchelidium miraculum</i>	15.8	1.4	APOL	<i>Heteromastus filiformis</i>	272	1.5	CDM	<i>Ogyrides orientalis</i>	262

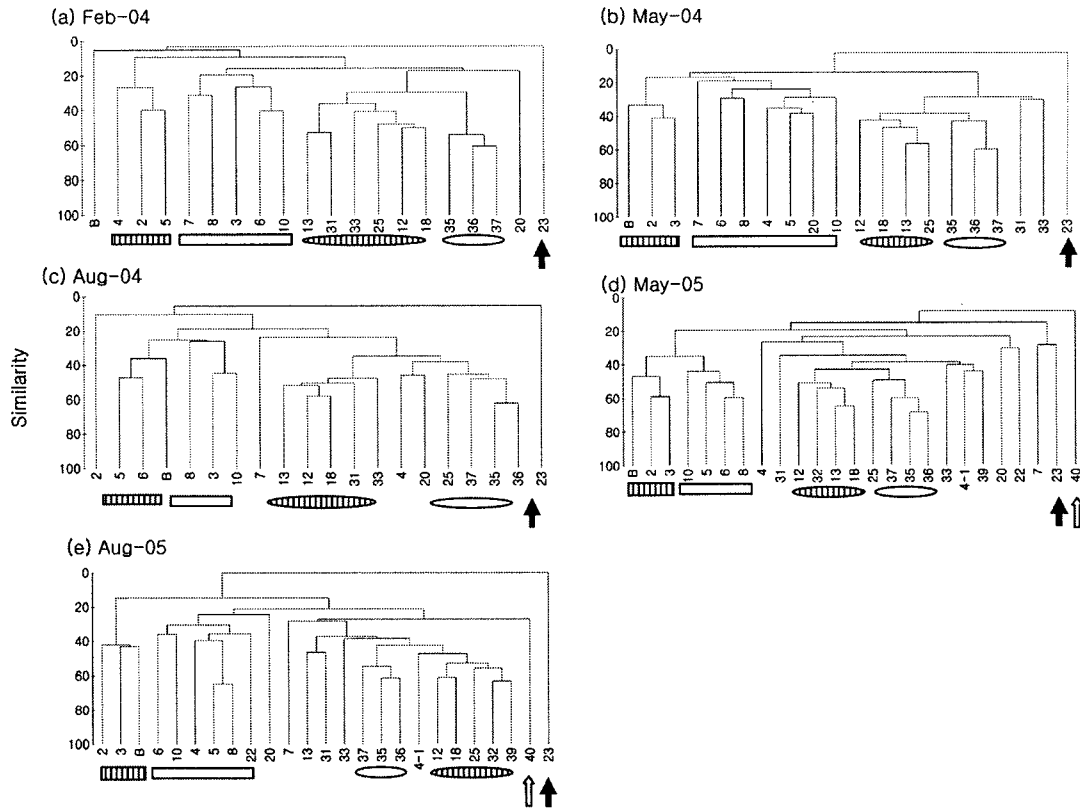


Fig. 8. Station groups (SG) determined by Bray-Curtis similarity. hatched square: SG1, clear square: SG2, hatched eclipse: SG3, clear eclipse:SG4. Refer to Table 4 and 5 for locations, environmental characteristics, and dominant species in each station group.

Table 4. Location, environments and community characteristics of stations belonging to each station group. See Fig. 8 for index.









Index	Station group	Stations	Grain size (ϕ)	COD (mg/g)	Number of species	Density (ind./m ²)
	1	Inside the dike, mouth of the rivers	2.6~3.1	0.6~1.6	8~23	42~662
	2	Inside the dike, toward the dike	2.5~2.8	0.4~2.2	18~23	238~2618
	3	outside the dike, near the Sinsi gate	3.4~4.6	2.2~6.3	51~68	1200~1600
	4	outside the dike, toward off shore	2.3~3.3	2.2~2.8	35~54	600~1500
	5	outside the dike, St 23. Sinsi gate channel	0.03~0.63	2.2~2.6	6~19	86~1300

Table 5. Temporal change of dominant species in each station group. See Fig. 8 for index.

Index	Station group	Feb-04	May-04	Aug-04	May-05	Aug-05	
1		<i>Ampelisca bocki</i> (CAm)	<i>Monoculodes koreanus</i> (CAm)	<i>Ogyrides orientalis</i> (CDm)	<i>Heteromastus filiformis</i> (APol)	<i>Potamocorbula amurensis</i> (MBi)	
		<i>Eriopsisella sechellensis</i> (CAm)	<i>Pseudopolydora tenuis</i> (APol)	<i>Magelona</i> sp.(APol)	<i>Minuspio japonica</i> (APol)	<i>Minuspio japonica</i> (APol)	<i>Balanus koradakovii</i> (CCi)
		<i>Podocerus</i> sp. (CAm)	<i>Heteromastus filiformis</i> (APol)	<i>Nephtys polybranchia</i> (APol)	<i>Meretrix petechialis</i> (MBi)	<i>Macra chinensis</i> (MBi)	<i>Heteromastus filiformis</i> (APol)
		<i>Euclymene oerslevi</i> (APol)	<i>Glycera chirori</i> (APol)	<i>Glycinde gurjanovae</i> (APol)	<i>Nephtys californiensis</i> (APol)	<i>Potamocorbula amurensis</i> (MBi)	<i>Macra chinensis</i> (MBi)
		<i>Paronis gracilis</i> (APol)	<i>Diasyllis paratricheta</i> (CCu)	<i>Synchelidium miraculum</i> (CAm)	<i>Potamocorbula amurensis</i> (MBi)	<i>Macra chinensis</i> (MBi)	<i>Heteromastus filiformis</i> (APol)
			<i>Hestione</i> sp.(APol)	<i>Minuspio japonica</i> (APol)	<i>Cirrophorus</i> sp.(APol)	<i>Minuspio japonica</i> (APol)	<i>Macra chinensis</i> (MBi)
			<i>Heteromastus filiformis</i> (APol)	<i>Cirrophorus</i> sp.(APol)	<i>Minuspio japonica</i> (APol)	<i>Heteromastus filiformis</i> (APol)	<i>Heteromastus filiformis</i> (APol)
			<i>Minuspio japonica</i> (APol)	<i>Magelona</i> sp.(APol)	<i>Glycera chirori</i> (APol)	<i>Magelona</i> sp.(APol)	<i>Magelona</i> sp.(APol)
			<i>Melita denticulata</i> (CAm)	<i>Heteromastus filiformis</i> (APol)	<i>Magelona</i> sp.(APol)	<i>Glycera chirori</i> (APol)	<i>Ophiura kirbergi</i> (Eop)
			<i>Mediomastus californiensis</i> (APol)	<i>Nephtys californiensis</i> (APol)	<i>Glycinde gurjanovae</i> (APol)	<i>Nemertinea</i> sp.(One)	<i>Mediomastus californiensis</i> (APol)
3		<i>Sternaspis scutata</i> (APol)	<i>Magelona</i> sp.(APol)	<i>Sternaspis scutata</i> (APol)	<i>Magelona</i> sp.(APol)	<i>Macra chinensis</i> (MBi)	
		<i>Macra veneriformis</i> (MBi)	<i>Sternaspis scutata</i> (APol)	<i>Cirrophorus furcatus</i> (APol)	<i>Nemertinea</i> sp.(APol)	<i>Magelona</i> sp.(APol)	
		<i>Nephtys polybranchia</i> (APol)	<i>Ampelisca bocki</i> (CAm)	<i>Nephtys polybranchia</i> (APol)	<i>Sternaspis scutata</i> (APol)	<i>Nipponomysella subtruncata</i> (MBi)	
		<i>Glycinde gurjanovae</i> (APol)	<i>Notomastus</i> sp.(APol)	<i>Xenophtalmus pimnotheroides</i> (Cdb)	<i>Nipponomysella subtruncata</i> (MBi)	<i>Nemertinea</i> sp.(One)	
		<i>Cirrophorus armatus</i> (APol)	<i>Arctidea assimilis</i> (APol)	<i>Mediomastus californiensis</i> (APol)	<i>Anatitides koreana</i> (APol)	<i>Raetellops pulchella</i> (MBi)	
			<i>Magelona</i> sp.(APol)	<i>Magelona</i> sp.(APol)	<i>Magelona</i> sp.(APol)	<i>Magelona</i> sp.(APol)	
			<i>Urothoe</i> sp.1(CAm)	<i>Nephtys polybranchia</i> (APol)	<i>Urothoe</i> sp.(CAm)	<i>Urothoe</i> sp.(CAm)	
			<i>Nephtys polybranchia</i> (APol)	<i>Mediomastus californiensis</i> (APol)	<i>Arctidea assimilis</i> (APol)	<i>Macra chinensis</i> (MBi)	
			<i>Urothoe grimaldii japonica</i> (CAm)	<i>Urothoe grimaldii japonica</i> (CAm)	<i>Nephtys polybranchia</i> (APol)	<i>Nephtys polybranchia</i> (APol)	
			<i>Scoloplos armiger</i> (APol)	<i>Urothoe grimaldii japonica</i> (CAm)	<i>Glycinde gurjanovae</i> (APol)	<i>Nemertinea</i> sp.(One)	
5		<i>Hestione</i> sp.(APol)	<i>Hestionidae</i> sp.(APol)	<i>Hemipodus yenurensis</i> (APol)	<i>Hestione</i> sp.(APol)	<i>Nudibranchia unid.</i> (MGs)	
		<i>Pisionidae</i> sp.(APol)	<i>Pisionidae</i> sp.(APol)	<i>Hestionidae</i> sp.(APol)	<i>Asteroidea unid.</i> (Eop)	<i>Nudibranchia unid.</i> (MGs)	
		<i>Sabellastarte zebuensis</i> (APol)	<i>Eriopsisella sechellensis</i> (CAm)	<i>Pisionidae</i> sp.(APol)	<i>Hemipodus yenurensis</i> (APol)	<i>Lineus</i> sp.(One)	
		<i>Nudibranchia unid.</i> 1(MGs)	<i>Nudibranchia unid.</i> 1(MGs)	<i>Lineus</i> sp.1(One)	<i>Pisionidae</i> sp.(APol)	<i>Lineus</i> sp.(One)	
		<i>Lumbrineris japonica</i> (APol)	<i>Ophiura kirbergi</i> (Eop)	<i>Nudibranchia unid.</i> 1(MGs)	<i>Pleurobranchaea novaezealandiae</i> (MGs)		
			<i>Hemipodus yenurensis</i> (APol)	<i>Hemipodus yenurensis</i> (APol)	<i>Hemipodus yenurensis</i> (APol)		
			<i>Pisionidae</i> sp.(APol)	<i>Pisionidae</i> sp.(APol)	<i>Pisionidae</i> sp.(APol)		
			<i>Eriopsisella sechellensis</i> (CAm)	<i>Pisionidae</i> sp.(APol)	<i>Pisionidae</i> sp.(APol)		
			<i>Nudibranchia unid.</i> 1(MGs)	<i>Nudibranchia unid.</i> 1(MGs)	<i>Nudibranchia unid.</i> 1(MGs)		
			<i>Ophiura kirbergi</i> (Eop)	<i>Nudibranchia unid.</i> 1(MGs)	<i>Nudibranchia unid.</i> 1(MGs)		

Taxon Key: APol:Annelida Polychaeta, MPo:Mollusca Polyplacophora, MGs: Mollusca Gastropoda, MSC: Mollusca Scaphopoda, MBI: Mollusca Bivalvia, Pyc: Pycnogonida, COs: Crustacea Ostracoda, CCi: Crustacea Cirripedia, CLe: Crustacea Leptostraca, CTA:Crustacea Tanaidacea, CCu: Crustacea Cumacea, CMY: Crustacea Mysidacea, Cls: Crustacea Isopoda, CAM: Crustacea Amphipoda, CDm: Crustacea Decapoda Macrura, CDA: Crustacea Decapoda Anomura, CDb: Crustacea Decapoda Brachyura, CST: Crustacea Stomatopoda, ECr: Echinodermata Crinoidea, EAs: Echinodermata Asteroidea, EOp:Echinodermata Ophiuroidea, EEc:Echinodermata Echinozoa, EHo: Echinodermata Holothuroidea

2005년 8월까지 다섯 번의 집괴분석결과 크게 4개의 정점 그룹과 1개의 정점(정점 23)을 구분할 수 있었다(Fig. 8). 4개의 정점그룹은 방조제 내부에 위치하며 만경, 동진강과 가까운 정점들(정점 2, 3, 4, 5, B)의 모임인 SG(station group)1과 방조제 내부에 위치하나 강보다는 방조제 쪽에 치우친 정점그룹 SG2(정점 6, 7, 8, 10), 방조제 외부에 위치하며 신시 갭문 인근에 위치하여 방조제 유출수의 영향권에 위치한 SG3(정점 12, 13, 18, 31, 32), 신시도에서 어느 정도 거리를 두고 외해쪽에 위치한 정점들의 모임인 SG4(정점 25, 35, 36, 37) 등이 있다(Fig. 8, Table 4). 각 정점 그룹에는 본 조사 기간 동안 유사한 정점들을 포함하고 있으나, 일부 정점들은 시기별로 다른 정점 그룹에 포함되기도 하였다. 신시도 남부 수로에 위치한 정점 23은 다른 정점과는 구분되는 군집을 가져, 모든 계절에서 독립된 정점으로 구분되었다. 2005년 5월 이후 추가된 정점 40(Fig. 8. 흰색 화살표)은 매우 세립한 퇴적물이 나타났는데, 빈약한 생물상을 보여 다른 정점들과 구분되었다. SG1에 속한 정점들은 비교적 조립하고 낮은 유기물 농도를 갖는 정점들로서 출현종 수도 적은 편이며, 서식밀도도 42~622개체/m²로 낮은 편에 속한다. SG1에 속하는 정점에서 우점종들은 조사시기마다 변화가 심하였는데, 다양한 다모류 이외에도 갑각류에 속하는 양각류, 계화도 조개나 개랑조개 등의 이매패류 등이 시기마다 다르게 나타나고 있다(Table 5). SG2에 속하는 정점들은 SG1과 유사한 서식환경을 가져 평균입도 2.5~2.8 정도로 조립하고, 유기물 농도가 낮은 퇴적물을 가지고 있으나, SG1에 비해 출현종 수가 많고, 저서동물의 서식밀도도 높은 정점군들이다. SG2에서 우점적으로 나타나는 종들은 주로 다모류 종류들인데, 예쁜매끈얼굴갯지렁이(*Prionospio(Minuspio) japonica*), 버들갯지렁이류(*Heteromastus filiformis*), 양손갯지렁이류(*Magelona* sp.) 등이 꾸준히 나타나고 있다(Table 5). SG3에 속하는 정점들은 방조제 외부에 위치하고 있는데, 가장 세립한 퇴적물로 구성되어 있으며, COD가 2.2~6.3 mg/g으로서 유기물농도도 높았다. 출현종 수로 가장 많았으며, 서식밀도도 높은 정점들로 구성되었다. SG3에서는 오투기갯지렁이(*Sternaspis scuatata*), 양손갯지렁이류(*Magelona* sp.)이 꾸준히 나타나고 있으며, 개랑조개, *Nipponomysella subtruncata* 등의 이매패류도 나타난다. SG4는 SG3에 비해 세립한 퇴적물로 이루어져 있으며, 출현종 수나 서식밀도도 SG3에 비해 낮게 나타난다. 특징적인 종으로는 갑각류에 속하는 옆새우류(*Urothoe* sp.)가 꾸준히 나타나고 있다. 신시도 남부에 위치한 정점 23은 분급이 불량한 역질 퇴적물로 이루어져 있으며, 종수가 빈약하고 저서생물의 서식밀도도 낮았다. 일부 조사에서 부채발갯지렁이류(*Hesionidae*)가 높은 밀도로 나타나기도 하였으며, 미갯지렁이류(*Hemipodus yenourensis*),

근벌레종류(*Lineus* sp.), 연체류인 나새류(*Nudibranchia* unid.) 등 다른 정점에서는 나타나지 않은 독특한 종들이 나타나고 있다(Table 5).

조사 시기에 따라 각 정점그룹에 속하는 정점들의 변동을 통해 저서군집의 변화를 살펴 볼 수 있는데, 예를 들어 방조제 안쪽 신시갭문 인근의 정점 7의 경우 2004년 2월과 4월에는 SG2에 속하였으나, 2004년 8월 이후 SG2에 포함되지 않고 있다. 2005년 5월에는 정점 23과 유사한 생물상을 보여, 신시 갭문을 통한 유출수의 영향이 방조제 내부(정점 7)와 외부(정점 23)에 미치고 있음을 보여주고 있다. 2005년 8월에는 신시갭문 바로 앞쪽에 위치하고 있으나, 수로에서 벗어난 정점 22가 SG2에 속하여, 이 지역도 유출수의 직접적인 영향을 받고 있음을 시사한다.

2006년 6월 현재 방조제 끝물막이 공사가 완료되어, 갭문을 통한 해수 유통이 이루어지고 있다. 향후 전반적으로는 방조제 내부와 외부의 조하대 환경조건이 분리되어, 저서군집의 차이가 더 커질 것으로 예상되나, 방조제 내부 유출수에 영향권에 있는 갭문 인근 지역은 일정 기간동안 내부와 유사한 저서군집을 유지할 가능성도 있다. 4호 방조제 인근과 신시도 인근의 해류 및 퇴적 환경변화에 따라, 퇴적물 입도, 유기물 농도 등이 변할 것이며 이에 따라 저서생물군집이 반응할 것이다.

4. 결 론

저서동물 군집에 중요한 서식 환경요인으로서 새만금 퇴적물 특성의 변화를 살펴보면 다음과 같다. 신시도 남부, 신시 갭문 수로 인근에 조립한 퇴적상이 나타나 유지되고 있다. 4호 방조제 외곽에는 세립질 퇴적물이 쌓여있으며 그 범위가 넓어지는 경향을 보인다. 방조제 내부 4호 방조제와 인접한 지역과 북쪽의 산동지역에서 세립한 퇴적물이 축적되고 있다. 저서생물의 먹이공급을 나타내는 지표로서 COD는 세립한 퇴적물에서 높은 경향을 나타냈다. 방조제 내부 퇴적물은 외부 퇴적물에 비해 조립한 경향을 보였다. 조사 기간 중 방조제 내·외부에서 퇴적물 입도의 차이는 뚜렷하지 않은 반면, COD는 방조제 외측이 내측에 비해 높았다. 방조제 내측 COD가 시간에 따라 거의 변하지 않은 반면, 방조제 외부정점의 COD는 증가하고 있으며, 그 차이가 점차 커져, 방조제 내측과 외측의 유기물 퇴적 환경이 분리되고 있음을 시사하고 있다.

1988년 6월 저서군집 조사와 2002년 이후 실시된 본 조사결과를 비교하여 보면, 조사방법의 차이에도 불구하고 2002년 이후 출현종 수(303~435종)는 1988년(61종)에 비해 매우 높아져, 1988년 이후 새만금 방조제 공사로 인한 교란, 그로 인한 저서생태계 종 수 및 서식밀도 감소 효과는 나타나지 않았을 가능성이 높다. 2002년 이후 출현종,

서식밀도, 생체량 변화는 방조제 내부와 외부가 다르게 나타났는데, 방조제 내부에서는 4호 방조제가 막혀 해류의 순환패턴이 급작스럽게 변했던 2003년 6월 이후 2004년까지는 종 수는 줄어들고 생체량은 늘어나는 경향을 보이다가 2005년 이후 종 수와 생체량이 모두 증가하여, 생태계가 안정되는 조짐을 보이고 있다. 방조제 외부에서는 2003년 6월, 4호 방조제가 막힌 이후 출현종 수가 감소하고 있으며, 2005년에도 이러한 경향이 이어지고 있다. 방조제 외부에서 출현종 수는 줄어들고 서식밀도와 생체량은 커지는 경향은 교란된 환경에서 기회종(opportunistic species)이 우점할 때 나타나는 양상과 유사하여, 방조제 외측 저서생태계의 교란이 진행 중임을 시사한다.

2002년 이후 출현한 저서동물을 분류군 별로 나누어 보면 서식밀도에 있어서는 다모류가 가장 많이 나타나 전체 개체수의 60% 정도를 차지하였다. 연체동물이 20% 내외로 두 번째로 우점하였고, 갑각류가 14~17%를 차지하였다. 생체량으로는, 연체동물이 절대 우점하여, 전체의 60~90%를 차지하였다. 특히 방조제 내부에서는 생체량이 큰 이매패류에 의해 우점도가 80% 이상을 유지하였다. 1988년과 2002년 이후 방조제 내부와 외부 정점들에서 우점종의 변화는 감지되지 않고 있으나, 일부 종의 변화가 나타났는데 예를 들면, 2002~3년 사이 가장 높은 밀도로 나타났던 서해비단고둥(*Umbonium thomasi*)이 2004~5년 크게 감소하였다. 또한 2005년 8월에는 이전에 우점하지 않던 절지동물 따개비류(*Balamus reticulatus*)와 개랑조개(*Mactra chinensis*)가 방조제 내부에서 우점하였다.

저서동물의 출현 개체수 근거로 실시한 집괴분석결과 크게 4개의 정점그룹을 구분하였는데, 방조제 내부와 외부에서 그 위치에 따라 각각 2개 정점그룹이 구분되었다. 각 정점그룹은 구별되는 퇴적물 특성과 군집특성을 가지고 있었는데, 일부 정점들은 시기마다 다른 정점 그룹에 속하여, 군집 변화의 조짐이 있음을 시사하고 있다.

사 사

본 연구는 해양수산부 출연사업인 “새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구의 유용저서생물자원 관리 및 이용분야(PM37906)” 연구와 2004년도 부산대학교 교내학술연구비(신임연구정착금) 지원으로 이루어졌습니다. 본 연구에 도움을 주신 서인수, 최병미께 감사드립니다. 본 논문을 꼼꼼히 살펴봐주신 심사자께도 감사드립니다.

참고문헌

박홍식, 임현식, 홍재상. 2000. 천수만 조하대 연성저질의 저서환경과 저서동물 군집의 시·공간적 양상. *한국수산학*

- 회지*, 33(3), 262-271.
- 심재형, 박수영, 조병철, 이윤호. 1995. 만경·동진강 염하구에서 섬모충류에 의한 박테리아 섭식에 관하여. *한국해양학회지*, 30(5), 426-435.
- 안순모, 고철환. 1992. 서해 만경동진 조간대의 환경과 저서동물 분포. *한국해양학회지*, 27(1), 78-90.
- 임현식, 최진우. 1998. 경기만 대부도 주변 조하대 해역의 저서동물군집. *한국수산학회지*, 31(4), 453-462.
- 한국해양연구소. 1995. 해양 저서생물상에 의한 환경평가-해양환경 관리 기술 보고서. 환경부, 과학기술처. 339 p.
- 해양수산부. 2001. 갯벌 생태계 조사 및 지속 가능한 이용방안 연구. 한국해양연구원, BSPM 118-00-1370-3. 1214 p.
- 해양수산부. 2003. 새만금 해양환경보전 대책을 위한 조사연구(1차년도) - 해양생태계/적조. 한국해양연구원, BSPM 139-01-1514-1. 350 p.
- 해양수산부. 2004. 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구(3차년도) - 유용저서생물자원 관리 및 이용 분야. 한국해양연구원, BSPM 26007-1687-3. 228 p.
- 해양수산부. 2005. 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구(3차년도) 평가예측·분야. 한국해양연구원, BSPM 26001-1691-2. 205 p.
- 해양수산부. 2006. 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구(3차년도) 연안해저지형변화 예측 및 관리 방안. 한국해양연구원, BSPM 32007-1764-5. 487 p.
- 해양수산부. 2002. 해양환경공정시험법. 해양수산부. 389 p.
- 환경영향분과조사단. 2000. 새만금사업 환경영향공동조사 결과보고서(환경영향평가분야). 432 p.
- Blanchard, A.L. and H.M. Feder. 2003. Adjustment of benthic fauna following sediment disposal at a site with multiple stressors in Port Valdez, Alaska. *Mar. Pollut. Bull.*, 46, 1590-1599.
- Boesch, D.F., M.L. Wass, and R.W. Virnstein. 1976. The dynamics of estuarine benthic communities. p. 177-196. In: *Estuarine Processes*. Vol. 1. ed. by M.L. Wiley. Academic Press, New York.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis. 1967. An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27, 325-349.
- Choi, J.W. and C.H. Koh. 1992. The distribution and feeding guilds of the Polychaete Community in the west coast off Kunsan Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 27(3), 197-209.
- Choi, J.W. and C.H. Koh. 1994. Macrobenthos community in Keum-Mankyung-Dongjin estuaries and its adjacent coastal region, Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 29(3), 304-318.
- Diaz, R.J., R.J. Newbauer, L.C. Schaffner, L. Phil, and S.P. Baden. 1992. Continuous monitoring of dissolved oxygen in an estuary experiencing periodic hypoxia and the

- effect of hypoxia on macrobenthos and fish. p. 1055-1068. In: *Marine Coastal Eutrophication*. ed. by R.A. Vollenweider, R. Marchetti, and R. Viviani. Elsevier, Amsterdam.
- Hyland, J.L. and H. Costa. 1994. Examining linkages between contaminant inputs and their impacts on living marine resources of the Massachusetts Bay ecosystem through application of the sediment quality triad method. Draft Final Report for the Massachusetts Bays Program, Boston, MA. 86 p. + 5 appendices.
- Hyland, J.L., T.J. Herlinger, T.R. Snouts, A.H. Ringwood, R.F. Van Dolah, C.T. Hackney, G.A. Nelson, J.S. Rosen, and S.A. Kokkinakis. 1996. Environmental quality of estuaries of the Carolinian Province: 1994. Annual statistical summary for the 1994 EMAP - Estuaries Demonstration Project in the Carolinian Province. NOAA Technical Memorandum NOSORCA 97. NOAA/NOS, Office of Ocean Resources Conservation and Assessment. Silver Spring, MD. 102 p.
- Lianso, R.J. 1992. Effects of hypoxia on estuarine benthos: the lower Rappahannock River (Chesapeake Bay), a case study. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 35, 491-515.
- Sanders, H.L. 1968. Marine benthic diversity: A comparative study. *Am. Nat.*, 102, 243-282.
- Simboura, N., A. Zenetus, P. Panayotides, and A. Makra. 1995. Changes in benthic community structure along an environmental pollution gradient. *Mar. Pollut. Bull.*, 30, 470-474.
- Tunncliffe, V. and M.J. Risk. 1977. Relationship between the bivalve *Macoma balthica* and bacteria in intertidal sediments: Minas Basin, Bay of Fundy. *J. Mar. Res.*, 35, 499-507.
- Weston, D.P. 1990. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 61, 233-244.
- Whitlatch, R.B. 1981. Animal-sediment relationship in intertidal marine benthic habitats: Some determinants of deposit-feeding species diversity. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 53, 31-45.
- Wu, R.S.S. 2002. Hypoxia: from molecular responses to ecosystem responses. *Mar. Pollut. Bull.*, 45, 35-45.

Received Jun. 26, 2006

Accepted Nov. 22, 2006